

# EL IMPACTO METEORÍTICO QUE HIZO TEMBLAR LA VIDA EN LA TIERRA

*La historia de la vida en nuestro planeta se ha visto salpicada desde su origen por numerosas crisis. Algunas han sido tan severas que la vida y la biodiversidad se han visto seriamente dañadas.*

**POR LAIA ALEGRET,  
IGNACIO ARENILLAS Y  
JOSÉ ANTONIO ARZ**

## El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

La historia de la vida en nuestro planeta se ha visto salpicada desde su origen por numerosas crisis. Algunas han sido tan severas que la vida y la biodiversidad se han visto seriamente dañadas. El ejemplo más reciente tuvo lugar hace 65,5 millones de años, en la frontera entre los periodos geológicos del Cretácico y Paleógeno, momento que se conoce informalmente como el límite Cretácico/Terciario (o límite K/T). Es precisamente en este límite donde se registra uno de los tres mayores eventos de extinción acaecidos en nuestro planeta en los últimos 500 millones de años. Su análisis requiere de la integración de detallados estudios multidisciplinarios, incluyendo el estudio de grupos de fósiles microscópicos, que nos permiten precisar el momento, las causas y las consecuencias de este gran evento de extinción.

### UN POCO DE HISTORIA...

El límite K/T ha atraído la atención de numerosos paleontólogos desde el siglo XIX, debido a que, en este momento de la historia de la Tierra, tuvieron lugar cambios biológicos abruptos y globales, que incluyeron la extinción de casi el 70% de las especies y el

fin del predominio de los grandes reptiles en nuestro planeta. Este interés se intensificó a partir de 1980, cuando el equipo liderado por el premio Nobel en Física Louis Alvarez sugirió que un meteorito de unos 10 kilómetros de diámetro impactó sobre nuestro planeta poniendo fin a la "Era de los dinosaurios"<sup>1</sup>. La clave para realizar esta afirmación se encontró tras realizar una serie de estudios geológicos en Gubbio (Italia), donde se encuentra uno de los mejores afloramientos de la frontera entre el Cretácico y el Terciario. En esta localidad existe una capa de arcilla de unos centímetros de espesor, depositada hace 65,5 millones de años y cuya base marca el límite K/T. El hallazgo fue en cierta manera fortuito, ya que el equipo de Louis Alvarez estaba buscando un método para calcular el tiempo en que se había depositado la arcilla del límite K/T. Para ello analizaron su contenido en iridio (Ir), un elemento abundante en los asteroides y en el núcleo de la Tierra al haberse concentrado durante la diferenciación en capas de nuestro planeta. Por el contrario, el Ir aparece en cantidades insignificantes en

la corteza terrestre y fundamentalmente proviene de la lluvia constante de microasteroides y de polvo cósmico. El equipo de Alvarez tomó como hipótesis de partida que si consideraban el flujo de Ir cósmico como constante, y medían su cantidad en la capa de arcilla, podrían estimar la velocidad de sedimentación de la misma. Los resultados fueron sorprendentes: constataron que la concentración de Ir en la base de la arcilla del límite era varias decenas de veces mayor de lo esperado y propusieron que su origen debía estar relacionado con el impacto de un meteorito gigante sobre nuestro planeta. Según esta hipótesis, el impacto debió originar una gran nube de polvo y cenizas, sometiéndolo a nuestro planeta a una prolongada oscuridad y a un largo invierno de impacto. El colapso de la cadena alimentaria, los incendios, y la lluvia ácida fueron efectos secundarios que contribuyeron a la extinción de la mayor parte de las especies.

También en 1980, y de forma casi simultánea, Jan Smit y Jan Hertogen presentaron conclusiones similares basadas en el estudio del corte español de Caravaca (Murcia), donde además de la anomalía de Ir hallaron otras evidencias de impacto meteorítico como espinelas de níquel (Ni), consideradas parte del material eyectado tras el impacto<sup>2</sup>.

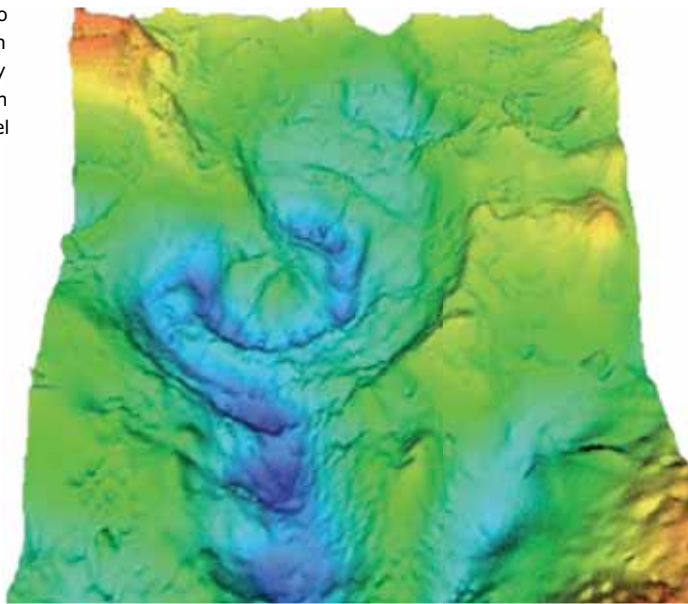
A partir de aquel momento se abrió una interesante controversia científica entre partidarios y detractores de esta hipótesis, y comenzaron a publicarse un gran número de trabajos sobre secciones del límite K/T de todo el mundo. A pesar de las cada vez más abrumadoras evidencias de impacto que iban siendo descubiertas, la teoría impactista fue duramente criticada atendiendo fundamentalmente a un aspecto: si se había producido la colisión de un meteorito de tal magnitud sobre nuestro planeta, ¿dónde estaba el gigantesco cráter que debió haber excavado?. La búsqueda del arma del crimen

**“El colapso de la cadena alimentaria, los incendios, y la lluvia ácida fueron efectos secundarios que contribuyeron a la extinción de la mayor parte de las especies.”**

finalizó en 1991, cuando utilizando métodos geofísicos se descubrió al Norte de la península de Yucatán (México), y enterrado bajo cientos de metros de sedimentos, un cráter de impacto de casi 200 kilómetros de diámetro: el cráter de Chicxulub<sup>3</sup>. Su edad coincidía con la época de las extinciones, y su tamaño se ajustaba al que produciría un cuerpo extraterrestre de unos 10 km de diámetro impactando a una velocidad de unos 20 km/seg. Este hallazgo supuso un importante impulso para la teoría impactista, que desde entonces ha sido aceptada por la mayor parte de la comunidad científica.

**Cráter de Chicxulub. Aunque en la actualidad está enterrado bajo cientos de metros de sedimentos, las variaciones del campo gravitatorio y magnético muestran su estructura tridimensional en forma de anillo.**

\*Imagen de V. L. Sharpton, Lunar and Planetary Institute.



1. Alvarez, L. W., Alvarez, W., Asaro, F. y Michel, H. V. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208: 1195-1108.
2. Smit, J. y Hertogen, J. 1980. An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature*, 285: 198-200.
3. Hildebrand A. R., Penfield G. T., Kring D. A., Pilkington M., Camargo Z. A., Jacobsen S. B., y Boynton W. V. 1991. Chicxulub crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan peninsula, Mexico. *Geology*, 19: 867-871.



# El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

## LOS SEDIMENTOS ASOCIADOS AL LÍMITE K/T

En las áreas próximas al cráter de Chicxulub situadas en el Golfo de México y El Caribe, las rocas que contienen fósiles cretácicos están separadas de las que contienen fósiles más modernos, del Paleógeno, por una serie de depósitos que los geólogos denominamos "unidades clásticas". Dichos depósitos están relacionados con diversos procesos asociados al choque del meteorito, como terremotos de magnitud superior a 11 en la escala de Richter y gigantes olas tsunami que barrieron las costas del antiguo Golfo de México. Además, contienen lo que se denomina *eyecta proximal*, es decir, fragmentos de roca expulsados desde el lugar de impacto, cuarzos de choque y otros minerales característicos de las altas presiones provocadas por el impacto, y tectitas.

Las tectitas son gotas de fundido que salen despedidas desde el lugar de impacto, que se solidifican en la atmósfera durante el vuelo, adquiriendo formas aerodinámicas y que caen a modo de lluvia de tectitas. Forman lo que se conoce como campos de tectitas: las más gruesas, de varios centímetros, caen en áreas próximas al cráter, mientras que las de menor tamaño alcanzan mayores distancias, hasta miles de kilómetros del lugar del impacto.

En los grandes impactos meteoríticos se genera tal cantidad de calor que, además de fundir las rocas (formando tectitas), se vaporizan grandes cantidades de material. Los productos de la vaporización son los primeros en abandonar el área de impacto e ingresar en la atmósfera, y por su pequeño tamaño se distribuyen alrededor de todo el planeta a través de las corrientes atmosféricas, tardando incluso varios

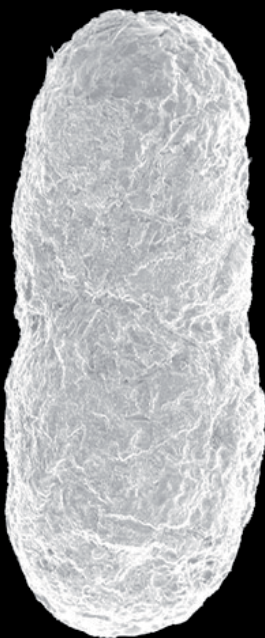
años en volver a depositarse. Estos sedimentos se conocen como la *eyecta distal* del impacto, contienen el Ir concentrado, los cuarzos de choque de menor tamaño y espinelas ricas en Ni, y pueden observarse en áreas más lejanas como las estudiadas por los equipos de Louis Alvarez y de Jan Smit en Italia, Dinamarca, Nueva Zelanda y España.

## FORAMINÍFEROS: TESTIGOS EXCELENTES DEL K/T

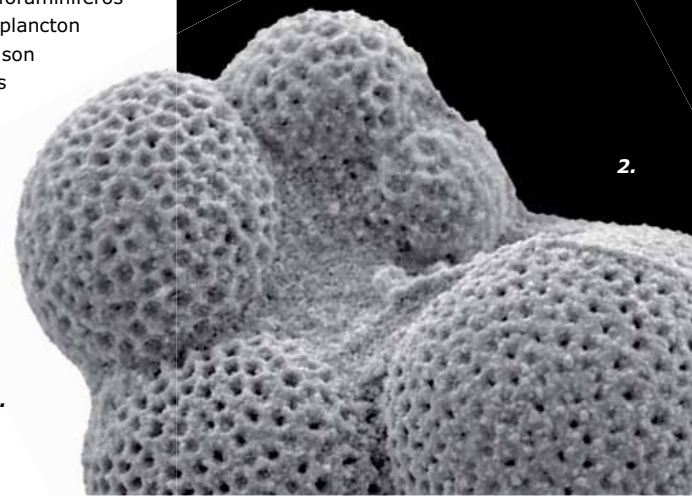
Nuestro grupo de investigación se ha especializado en el estudio de los foraminíferos, un grupo de protistas eucariotas que se protegen del medio externo mediante una concha microscópica, generalmente de composición calcítica, o en ocasiones compuesta por partículas recogidas del medio y soldadas con un cemento (conchas aglutinadas). Las conchas calcíticas o aglutinadas suelen resistir los procesos de fosilización, y por ello son muy abundantes en los sedimentos marinos.

Estos protistas ocupan el hábitat más extenso del planeta, los océanos. En función de su modo de vida se diferencian dos grandes grupos: los foraminíferos bentónicos, que habitan en el fondo marino, y los planctónicos, que flotan en la columna de agua. Los foraminíferos planctónicos forman parte del plancton marino y, al morir, sus conchas son arrastradas pasivamente por las corrientes marinas, y finalmente caen al fondo del mar, in-

Fotografías de microscopía electrónica de barrido de tectitas procedentes México. La escala equivale a 100 micras.



Fotografías de microscopía electrónica de barrido de diversos foraminíferos: bentónicos (1) y planctónico (2). La escala equivale a 100 micras.



1.

2.



## El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

corporándose al sedimento. Los foraminíferos están estrechamente ligados a las condiciones del medio en el que habitan, por lo que son unos excelentes indicadores de las condiciones medioambientales (temperatura, niveles de contaminación, acidificación de las aguas, productividad, etc.) tanto en medios actuales como en los sedimentos del pasado. Además, su gran abundancia y diversidad permite datar las rocas con precisión. Por todas estas razones, el análisis de los foraminíferos del tránsito Cretácico-Terciario ha contribuido notablemente al estudio de las causas y consecuencias del evento del K/T.

Alrededor del 90% de las especies de foraminíferos planctónicos se extinguieron en coincidencia con el límite K/T en todos los océanos, siguiendo lo que se denomina un patrón de extinción en masa catastrófico<sup>4</sup>. Este patrón de extinción únicamente puede ser atribuido a una causa de origen global generadora de cambios medioambientales muy rápidos en todo el planeta. Uno de ellos, probablemente el principal, fue el cese de la fotosíntesis debido al oscurecimiento global del planeta, lo que provocó a su vez el colapso de las cadenas tróficas dependientes del fitoplancton marino o de las plantas terrestres.

Los foraminíferos bentónicos no sufrieron, por el contrario, extinciones significativas. Sin embargo muestran importantes cambios en sus asociaciones en coincidencia con el límite K/T, incluyendo un descenso global de la diversidad como consecuencia del estrés medioambiental originado directa o indirectamente por el impacto, y la proliferación de especies oportunistas capaces de aprovechar este tipo de crisis ambientales.

Por otro lado, el estudio de los foraminíferos asociados a los depósitos característicos del K/T en áreas próximas al cráter de Chicxulub

ha permitido datar los sedimentos y precisar su origen. Concretamente indican que las unidades clásticas del Golfo de México y Caribe se depositaron justo inmediatamente después del impacto en Chicxulub, como consecuencia del colapso de los márgenes continentales, la ruptura de las plataformas, y el transporte masivo de sedimentos, que fueron arrastrados por olas tsunami desde zonas poco profundas e incluso desde el continente hacia las partes más profundas de la cuenca, a unos 1000-1500 metros de profundidad. La datación mediante foraminíferos y el estudio de las estructuras sedimentarias (disposición de los sedimentos) indican un rápido depósito de estas unidades que no puede explicarse mediante procesos geológicos "graduales". En efecto, para explicar la génesis de las unidades del K/T depositadas en el área del Golfo de México y El Caribe es necesario recurrir a la gran cantidad de energía liberada

4. Arenillas, I., Arz, J. A., y Molina, E. 2000. Spanish and Tunisian Cretaceous-Tertiary boundary sections: A planktic foraminiferal biostratigraphic comparison and evolutive events. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 120: 11-12.

5. Schulte P., Alegret L., Arenillas I., Arz J.A., y 37 más\*. 2010. The Chicxulub Impact and the Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, 327: 1214-1218.

\*Barton P., Bralower T., Bown P.R., Christenson G.L., Claeys P., Cockell C.S., Collins G.S., Deutsch A., Goldin T., Johnson K.D., Goto K., Grajales J.M., Grieve R., Gulick S., Kiessling W., Koeberl C., Kring D.A., MacLeod K.G., Matsui T., Melosh J., Montanari A., Morgan J.V., Neal C.R., Nichols, D.J., Norris R.D., Pierazzo E., Ravizza G., Rebolledo M., Reimold U., Robin E., Salge T., Speijer R.P., Sweet A.R., Urrutia J., Vajda V., Whalen M.T., Willumsen P.

por el impacto de un gran cuerpo extraterrestre en la península de Yucatán, que se ha estimado en unos  $10^{23}$  a  $10^{24}$  J, unas mil veces superior a la energía liberada por la mayor bomba nuclear probada.

### ¿UNA O MÚLTIPLES CAUSAS ?

Aunque la hipótesis impactista es hoy en día la mejor documentada, existe un grupo de científicos que tratan de explicar la crisis biológica del límite K/T mediante fenómenos tales como una actividad volcánica inusual a finales del Cretácico en el área del Decán (India), variaciones del nivel del mar, o una combinación de estos factores. Con el fin de evaluar el papel jugado por estos agentes geológicos en el evento de extinción, Peter Schulte y 40 colaboradores (entre los que nos encontramos los autores de este artículo) analizaron detalladamente el registro estratigráfico, paleontológico, geoquímico y mineralógico del límite K/T en las 80 localidades más completas de todo el planeta. Sus resultados fueron publicados recientemente en un artículo de revisión en la revista *Science*, y concluyen que el impacto del gran meteorito de Chicxulub fue la principal causa de las extinciones masivas del límite K/T<sup>5</sup>.

Según este análisis multidisciplinar, las hipótesis alternativas no han conseguido hasta la fecha explicar satisfactoriamente la brusquedad de la extinción en masa del límite K/T, ni los marcadores cósmicos presentes en este nivel estratigráfico, como son la alta concentración de Ir, cuarzos de choque, espinelas de Ni o las tectitas, entre otros. Se ha calculado que los

cambios climáticos que pudo generar el vulcanismo del Decán (un incremento de 2°C en la temperatura global y emisiones de azufre que formarían aerosoles en la atmósfera, pero que se disolverían en los océanos entre erupción y erupción) no son suficientes como para desencadenar una extinción masiva. Por otra parte, no es posible explicar una extinción geológicamente instantánea como la del K/T mediante hipótesis que impliquen cambios climáticos o del nivel del mar graduales y no especialmente significativos a finales del Cretácico.

En cambio, la liberación de grandes volúmenes de azufre, polvo y hollín en pocos minutos tras el impacto del meteorito en Chicxulub necesariamente tuvo que causar perturbaciones medioambientales extremas, como el oscurecimiento y enfriamiento global del planeta. Este escenario es compatible con los datos paleontológicos observados en el límite K/T, que muestran cómo todos los cambios significativos en los ecosistemas se iniciaron en ese momento. El impacto de un asteroide sigue siendo la causa más probable para explicar los cambios ocurridos en la biosfera hace 65,5 Ma.

Laia Alegret, Ignacio Arenillas  
y José Antonio Arz

Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

Instituto Universitario de Investigación  
en Ciencias ambientales de Aragón (IUCA)  
Universidad de Zaragoza